

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Was ist NC und CNC?

P.D. 05.05.2001

P 24-39 + 294 - 297

20

NC wurde aus der amerikanischen Fachsprache übernommen und steht als Abkürzung für „Numerical Control“, auf deutsch „Numerische Steuerung“, d.h. Steuerung mit Zahlen. Hier sollen zunächst die wichtigsten Grundbegriffe dieses Steuerungsprinzips erläutert werden.

1. Der Weg zu NC

Viele Geräte und Maschinen in unserer Umgebung werden gesteuert: manuell, automatisch, programmgesteuert, ferngesteuert usw. Bei Produktionsmaschinen ist die vorwiegende Aufgabe einer Steuerung, gleichbleibende Bewegungsabläufe schnell und präzise zu wiederholen, so daß Massenprodukte mit einheitlicher Qualität ohne menschliche Ein-

griffe entstehen. Diese Maschinen sind als „Automaten“ allgemein bekannt. Ihre höchste Ausbaustufe wird auch als „Transferstraße“ oder allgemein als „Fertigungslinie“ bezeichnet. Hierbei sind mehrere automatische Maschinen hintereinander angeordnet und jede führt an einem Werkstück bestimmte Bearbeitungen durch, bis es die letzte Maschine komplett bearbeitet verläßt.

Steuerungsart	Arbeitsaufgabe	Speicher für Weg-Informationen	Speicher für Schalt-Informationen	Programmherstellung
mechanische Steuerung	Positionierung	Kurvenscheibe	Kurvenscheibe	Vorrichtungsbau
Nockensteuerung	Positionierung	Nockenleiste	Schaltung	Vorrichtungsbau
Nockensteuerung mit Programmstecker	Positionierung Streckensteuerung	Nockenleiste	Programmschalter	Vorrichtungsbau bzw. Fertigungsvorbereitung
Nockensteuerung mit Kreuzschienenverteiler	Positionierung	Nockenleiste	Programmschalter Dioden Stecker	Vorrichtungsbau bzw. Fertigungsvorbereitung
Nachformsteuerung	Strecken- oder Bahnsteuerung	Schablone oder Modell	Schablone oder Modell	Vorrichtungsbau
Strichkantensteuerung	Strecken- oder Bahnsteuerung	Zeichnung	Zeichnung	Fertigungsvorbereitung
Repetiersteuerung (play-back-Verfahren)	Strecken- oder Bahnsteuerung Punktsteuerung	Magnetband Speicher	Magnetband Speicher	Werkzeugmaschine
Numerische Steuerung CNC	Positionier- oder Bahnsteuerung mit hoher Präzision	Lochstreifen, Magnetband Integrierte elektronische Speicher z.B. RAM		Fertigungsvorbereitung Werkstatt

Tabelle 1: Grundtypen verschiedener Steuerungen für Werkzeugmaschinen und deren Kennzeichen.

Für den automatischen Ablauf sorgt eine **Steuerung**. (Tabelle 1)

Je nach den verwendeten Steuerungskomponenten spricht man von **mechanischen, elektrischen, pneumatischen oder hydraulischen Steuerungen**.

Das Kennzeichen dieser Steuerungen liegt darin, daß die Funktionsabläufe durch die Schaltung bzw. Verdrahtung festgelegt sind. Ablaufänderungen oder Umstellungen auf ein anderes Produkt sind mit längeren Stillstandszeiten zur **Umrüstung der Maschinen und Steuerungen** verbunden. Ein wesentlicher Anteil der Umrüstzeit entfällt dabei auf die Umstellung der Ablauffolge und der einzelnen Bewegungslängen. Dazu werden auch heute noch justierbare **Nocken und Nockenleisten** verwendet, um Bewegungen an genau definierten Positionen über Endschalter abzuschalten. Das exakte Justieren dieser Begrenzungsnocken ist sehr zeitaufwendig. Deshalb tauscht man in vielen Fällen zum Umrüsten einer Maschine die kompletten Nockenleisten mit den justierten Nocken aus, um Zeit zu sparen. Zur Umrüstzeit addieren sich auch die Zeiten für den manuellen Wechsel der Werkzeuge, Spindeldrehzahlen und Vorschüben, für die Werkstückspannung und für das genaue Einrichten der gesamten Maschine.

Eine flexible, d. h. häufige Umstellung, wie sie in zunehmendem Maße gefordert wird, ist mit diesen Maschinen nicht wirtschaftlich möglich.

Ein anderes **Steuerungskonzept** mußte her, das folgende Forderungen erfüllt:

1. Keine manuellen Eingriffe in den Bearbeitungsablauf,
2. schnell austauschbare, gespeicherte Ablaufprogramme,

3. keine Nocken und Endschalter für die unterschiedlichen Verstellwege,

4. nach Möglichkeit auch exakt definierbare und simultane Bewegungen mehrerer Achsen gleichzeitig als Ersatz für Kopierschablonen und -taster,

5. ein schneller Werkzeugwechsel samt Vorschüben und Drehzahlen.

Man suchte nach **programmierbaren Maschinen**, die man schnell und fehlerfrei auf wechselnde Bearbeitungsaufgaben umstellen konnte: Maschinen, die sich **durch Zahlen steuern** lassen, denn alle Werte liegen als Zahlen vor. Bei Werkzeugmaschinen sind dies an erster Stelle die Zahlen zur Steuerung der Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück, die als **Maßangaben** direkt aus der Zeichnung entnommen werden können. Andere Zahlenwerte definieren Vorschübe direkt in Millimeter pro Minute oder pro Umdrehung, die Spindeldrehzahl in Umdrehungen pro Minute, die Nummer des erforderlichen Werkzeuges oder Hilfsbefehle für Werkzeugwechsel, Werkstückwechsel und Kühlmittel.

Diese Zahlenwerte, entsprechend der gewünschten Bearbeitungsfolge schrittweise aneinandergereiht, bezeichnet man als **Programm**, die Erstellung und Speicherung der Daten als **Programmierung** (Bild 1a und b).

Heutige CNC's verarbeiten viele weitere Zahlenwerte, beispielsweise zur Verschiebung oder Drehung der Bearbeitung, zur Kompensation unterschiedlicher Fräserdurchmesser und Werkzeuglängen, Tabellenverwaltungen u.v.a.m.

Im Gegensatz zu den eingangs erwähnten mechanischen, elektrischen und pneumatischen Steuerungen verwenden numerische Steuerungen keine speziellen

„numerischen“ Steuerungskomponenten, sondern **Serienbausteine der Mikroelektronik**, der Rechner-technik und evtl. spezielle Bausteine für die Servo-Regelkreise. Heutige CNC's verteilen die um-

fangreichen Rechen- und Steuerungsaufgaben auf einen oder mehrere Mikroprozessoren und bieten ausbaufähige Datenspeicher für mehrere Programme, Unterprogramme und viele Korrekturwerte. Zu-

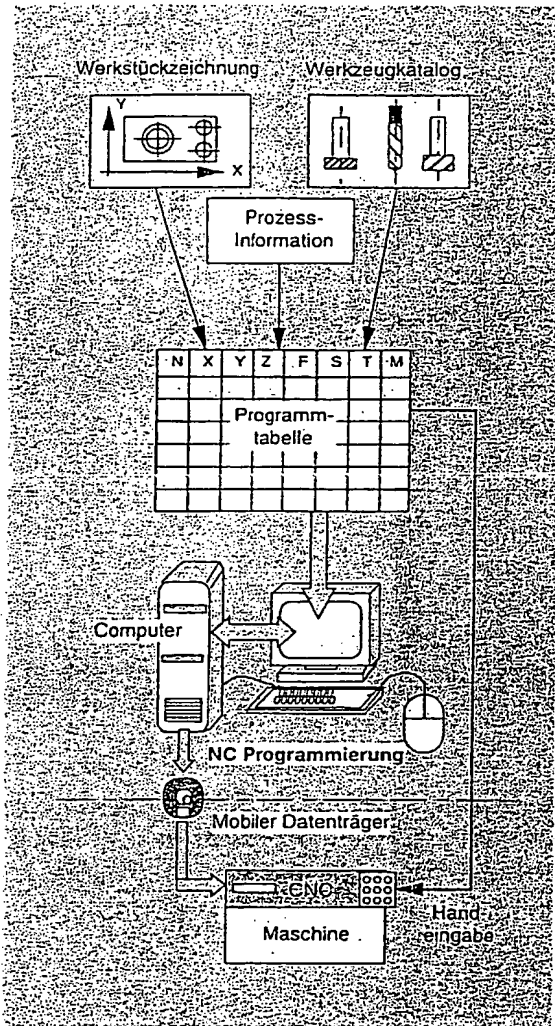


Bild 1a: Basis-Prinzip der manuellen NC-Programmierung: Schrittweise Eingabe der Maschinenbewegungen. Im NC-Programm werden Weg- und Schaltinformationen schrittweise zusammengestellt und auf einen mobilen, automatisch lesbaren Datenträger übertragen. Oder die einzelnen Datensätze werden manuell in die CNC eingetippt.

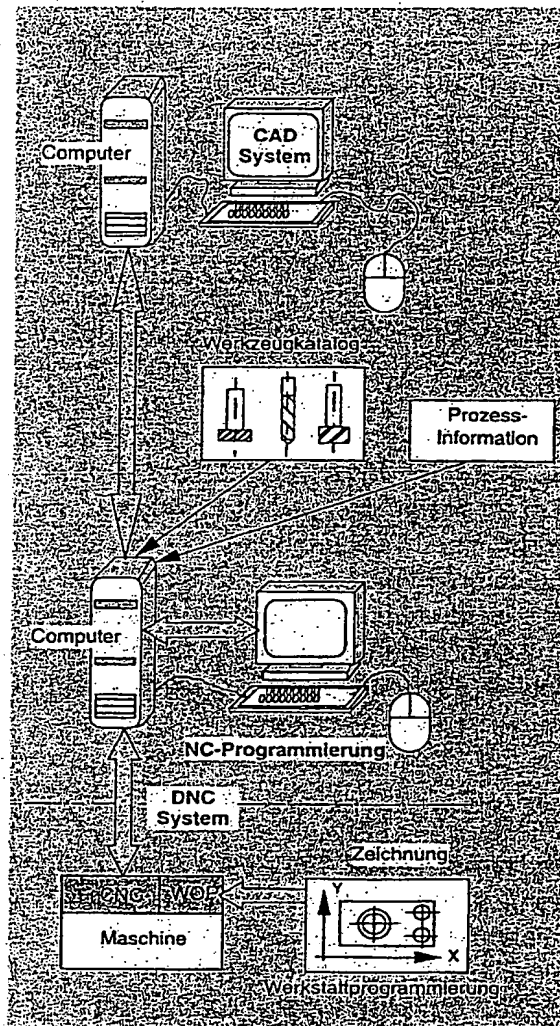


Bild 1b: CAD/CAM-Prinzip: Eingabe der Rohteil- und Werkstückgeometrie und daraus automatische Erzeugung der Maschinenbewegungen. Am CAD-System werden die Werkstücke konstruiert und im NC-Programmier-system aus den CAD-Daten die erforderlichen Maschinenbewegungen für die Zerspanung der Teile erzeugt.

nehmend kommen grafische Anzeigen und dynamische Simulationen hinzu, die ebenfalls viel Rechen- und Speicherkapazität erfordern.

Durch die innerhalb weniger Jahre erreichte Leistungssteigerung ist die Bezeichnung „Numerische Steuerung“ für die heutigen CNC's in zweifacher Hinsicht falsch, denn

- es handelt sich im Sinne der DIN 19226 nicht um Steuerungen, sondern um **Regeleinrichtungen** mit geschlossenen Regelkreisen. Die vorgegebenen Wegmaße, Drehzahlen und Vorschübe

werden ständig mit den gemessenen Istwerten verglichen und Abweichungen ausgeregelt, und

- es sind **datenverarbeitende Geräte**, die nicht nur numerische Eingaben, sondern auch alle Buchstaben (Adressen) und sämtliche Sonderzeichen verstehen, speichern, rechnen und logische Folgen selbst generieren können.

2. NC-Achsen

Jede Werkzeugmaschine ist dadurch gekennzeichnet, daß sie aus einer Kombination linearer und rotativer Achsen besteht.

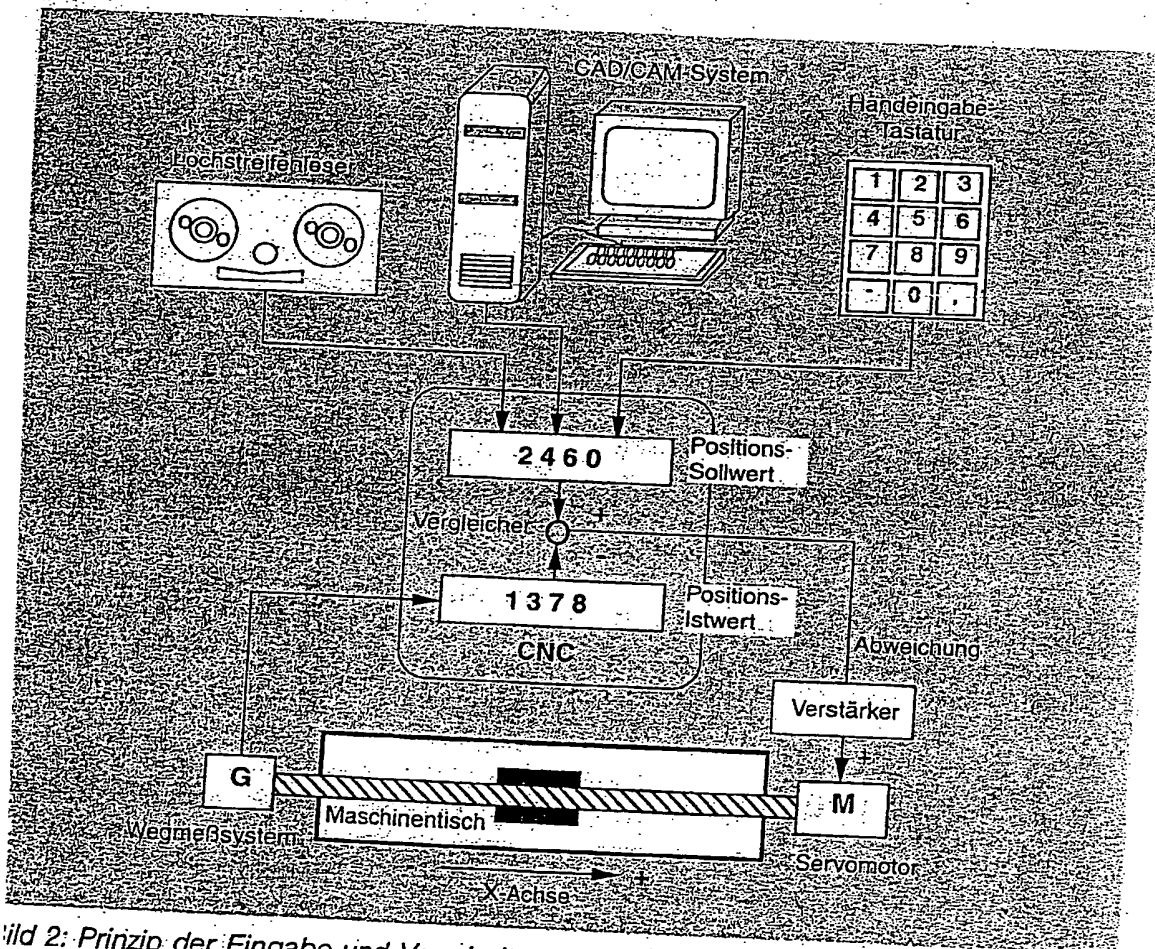


Bild 2: Prinzip der Eingabe und Verarbeitung geometrischer Informationen im geschlossenen Regelkreis.

Um diese Achsen numerisch steuern zu können, müssen zwei Voraussetzungen erfüllt sein:

Jede NC-Achse benötigt

1. ein elektronisch auswertbares **Wegmeßsystem** und
2. einen steuerbaren bzw. regelbaren **Antrieb**,

die direkt mit der numerischen Steuerung gekoppelt werden.

Aufgabe der NC ist es, die vorgegebenen **Positions-Sollwerte** mit den vom Wegmeßsystem zurückgemeldeten **-Istwerten** zu vergleichen und bei Abweichung ein Steuersignal an die Achsantriebe auszugeben, welches diese Abweichung ausgleicht (*Bild 2*). Bahnsteuerungen geben fortlaufend neue Positionswerte aus, denen die zu steuernden Achsen nachlaufen müssen. Damit ist es möglich, kontinuierliche Bahnbewegungen zu erreichen.

Bei Drehmaschinen ist auch die **Hauptspindel als NC-Achse** ausgelegt, wenn angetriebene Werkzeuge zum Bohren und Fräsen zum Einsatz kommen.

Bearbeitungszentren sind meistens mit **numerisch gesteuerten Rundtischen** ausgerüstet. **Rundtaktische**, die z.B. über ein Malteserkreuz 4 x 90 Grad oder 12 x 30 Grad weitertakten, zählen **nicht** zu den numerisch gesteuerten Achsen.

Detaillierte Erläuterungen zu den NC-Achsen folgen im Kapitel „Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen“.

3. Die Hardware (*Bild 3*)

Die Elektronik heutiger CNC's ist unter Verwendung von **Mikroprozessoren** in 16- und 32-Bit-Technik und mit **integrierten Schaltkreisen** (IC's) aufgebaut. In einigen Steuerungen kommen auch spe-

zielle **Customer-Designed VLSI's** zum Einsatz. Dies sind hoch integrierte Bausteine der Mikroelektronik, die speziell nach Kundenforderungen ausgelegt und in großen Mengen hergestellt werden. Dadurch erreicht man ein geringes Bauvolumen der Steuerung, hohe Zuverlässigkeit und eine einfache Wartung.

Neben den meist 1-2 verwendeten **Mikroprozessoren** spielen die **elektronischen Speicherbausteine** eine sehr wesentliche Rolle, von denen in einer CNC gleich mehrere Typen zu finden sind:

- in **ROM's** und **EPROM's** sind meistens die unveränderlichen Teile des CNC-Betriebssystems gespeichert, sowie feste Zyklen und Routinen,

- in **EEPROM's** speichert man Daten, die man erst bei der Inbetriebnahme ermitteln kann und die unverlierbar, aber auch gelegentlich modifizierbar sein müssen, wie z. B. Maschinenparameter, Sonderzyklen oder Unterprogramme,

- zur Speicherung von Teileprogrammen und Korrekturwerten verwenden alle Fabrikate **RAM-Speicher** mit ausbaufähigen Speicherkapazitäten von 16 bis 500 KByte, manchmal auch mehr.

Ringkernspeicher, bei Minicomputern der ersten Generation noch obligatorisch, werden wegen ihrer Empfindlichkeit, des Platzbedarfs und des hohen Preises heute nicht mehr verwendet. **Bubble Memories** sind ebenfalls nicht mehr zu finden.

Die einzelnen Funktionsbaugruppen der elektronischen Ausrüstung befinden sich auf mehreren gedruckten Leiterplatten, die in einem **Cardrack** stecken und durch eine interne Busverbindung untereinander verbunden sind (*Bild 4*). Um die Einstreu-

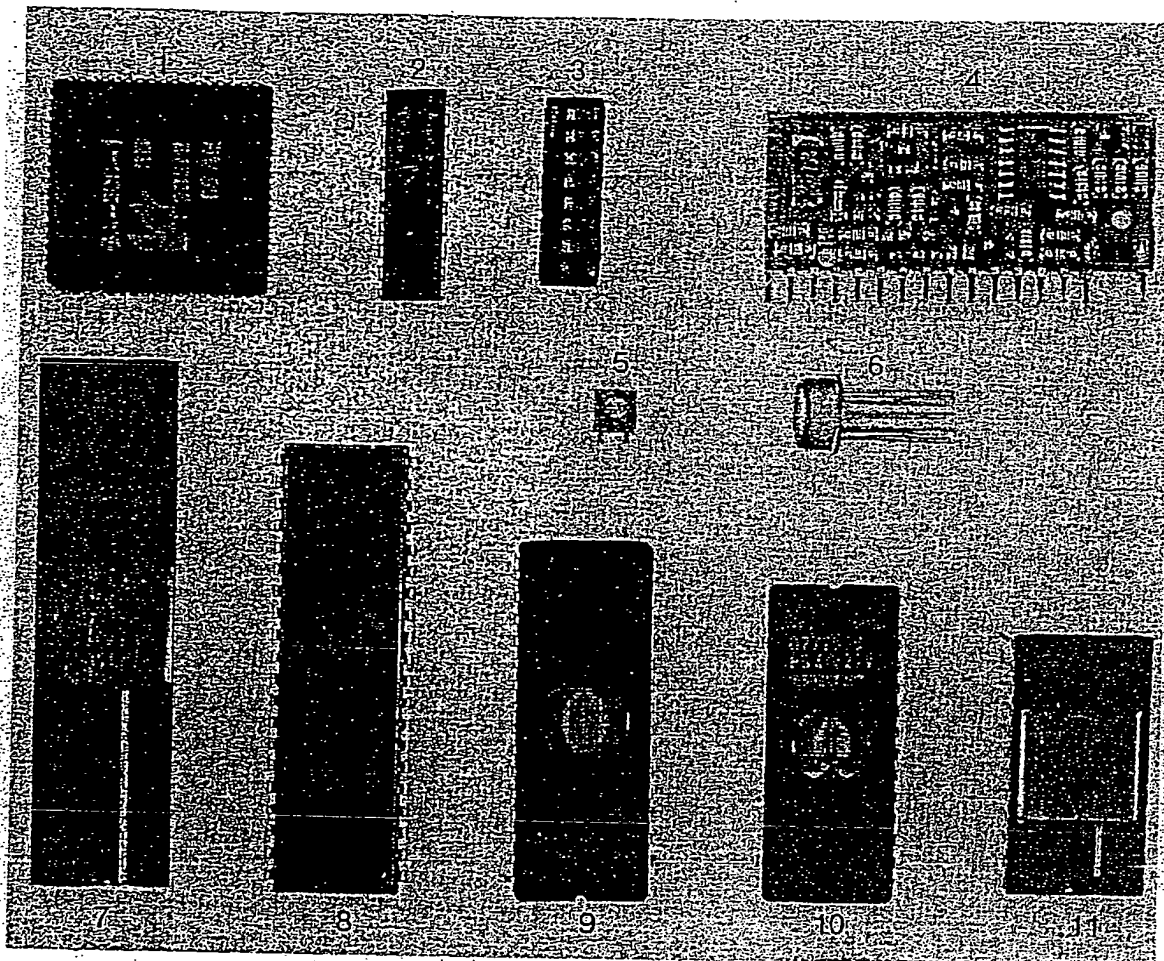


Bild 3: Elektronische Bauteile, die in heutigen CNC's verwendet werden:

- 1 = Kundenspezif. Baustein (ASIC)
- 2 = TTL-Baustein (z.B. RAM, ROM)
- 3 = DIP-Switch
- 4 = SMD-Bauteil
- 5 = Trimpotentiometer
- 6 = D/A-Wandler

- 7 = Mikroprozessor, 32/16 Bit
- 8 = CMOS-Baustein (elektron. Uhr)
- 9 = EPROM, 1 MBit
- 10 = EPROM, 256 KBit
- 11 = Peripherie-Bauelement (FPU)

ung von **Störstrahlungen** und damit Fehlreaktionen der NC zu verhindern, ist es zweckmäßig, die Elektronik in ein elektrostatisch und elektromagnetisch **abschirmendes Blechgehäuse** einzubauen. Dieses sollte auch öl- und staubdicht sein, weil die Ablagerung feinsten Metall-

partikel auf den Leiterplatten die Betriebssicherheit der Anlage gefährden würde. Aus diesem Grunde sollte auch keine Umluft zur **Kühlung** des Schrankinneren verwendet werden, auch nicht mit vorgesetzten **Filtern**, die sich zusetzen und damit den Ausfall der Kühlung zur

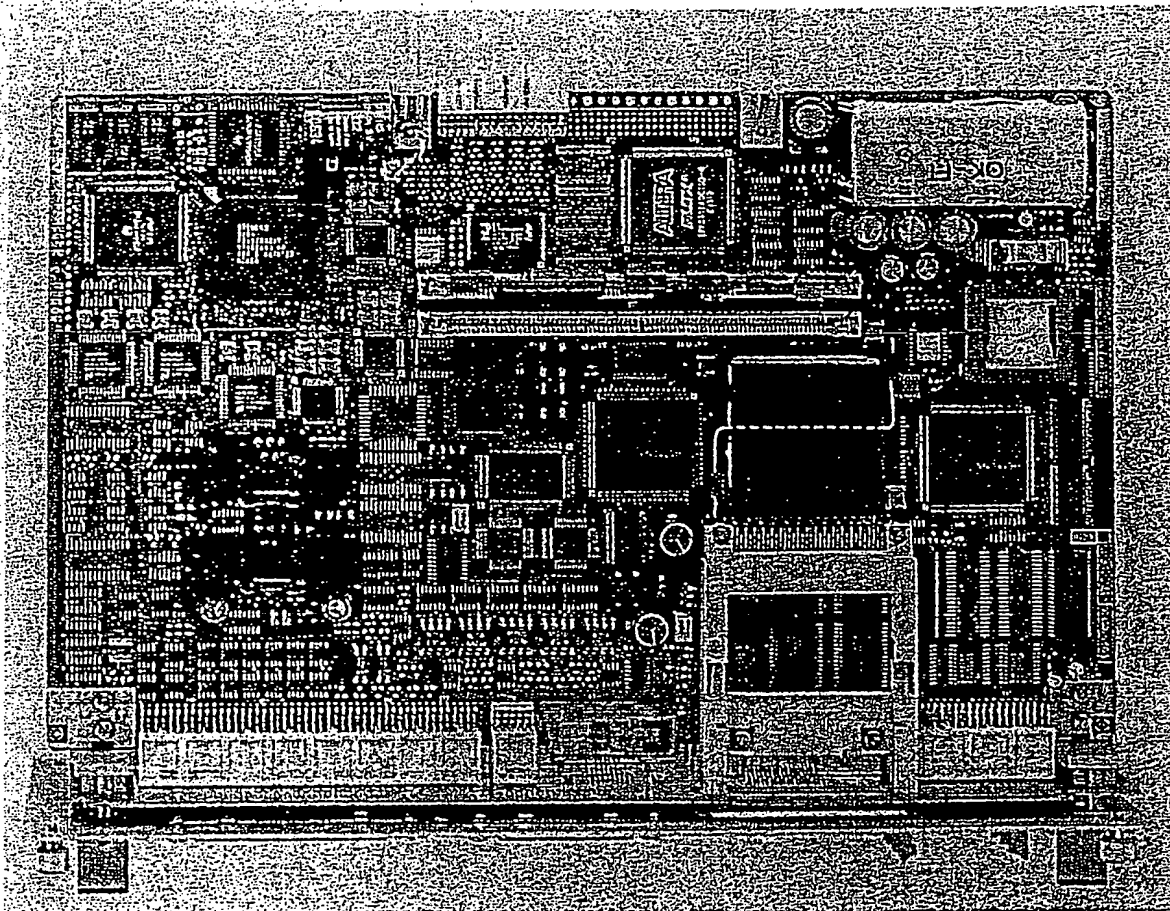


Bild 4: Steckbare Baugruppe in Multilayertechnik (mehrere Lagen gedruckter Leiterbahnen) und hoher Funktionsdichte: NC, SPS und Antriebsregelung auf einer Baugruppe (SINUMERIK 810 D).

Folge haben. Sofern die Wärmeabfuhr über die Schrankoberfläche nicht ausreicht, ist ein aktives **Kühlaggregat** die einzig akzeptable Lösung. Damit erweitert sich der Bereich zulässiger Umgebungstemperaturen auf +10 bis +45 Grad Celsius. Die Luftfeuchtigkeit sollte 95% nicht überschreiten, oft muß der Anwender auch schon bei niedrigeren Werten auf zu starke Kondenswasserbildung achten, die ebenfalls zu Störungen und auf Dauer zu Beschädigungen führt.

Lochstreifenleser und -stanzer, Bildschirme und die Tastatur zählen ebenfalls zur Hardware einer NC.

4. Die Software

Eine CNC ist ein spezieller Rechner zum Steuern einer Maschine, eines Roboters oder einer anderen Bearbeitungsmaschine. Wie jeder Rechner benötigt auch die CNC ein **Betriebssystem**, das auch als

Steuerungs- oder Systemsoftware bezeichnet wird. Diese Software muß speziell auf den zu steuernden Maschinentyp ausgelegt sein, da z.T. gravierende Unterschiede in der Kinematik und dem Betriebsverhalten der Maschinen bestehen. Diese Software bestimmt die Leistungsfähigkeit und alle Funktionen der Maschine, ihre Schnelligkeit, Genauigkeit und die Programmierung samt grafischer Simulation des Zerspanungsvorganges. Aber auch eine leistungsfähige Test- und Fehlerdiagnose-Software, BDE/MDE und Datenschnittstellen zum Anschluß eines Leitrechners sind unbedingt erforderlich und als Softwarepakete zu erwerben.

Darüber hinaus muß aber auch die Möglichkeit bestehen, **maschinenspezifische Varianten** ohne größeren Aufwand berücksichtigen zu können, wie beispielsweise die Anzahl der Achsen, unterschiedliche Werkzeugmagazine und -wechsler, Softwareendschalter oder der Anschluß von Werkzeugüberwachungseinrichtungen. Diese Daten werden einmalig bei der Inbetriebnahme als **Maschinen-Parameterwerte** eingegeben.

Moderne CNC's verfügen darüber hinaus noch über eine BASIC- oder PASCAL-ähnliche **integrierte Programmiersprache**, mit deren Hilfe Sonderlösungen und spezielle Anpassungen realisierbar sind. Hier hat der Maschinenhersteller die Möglichkeit, eigenes Know-how in die Steuerung einzubringen und vorteilhafte Lösungen für spezielle Fertigungsprobleme anzubieten. Selbst auf die Bildschirm-Grafik kann er dabei zugreifen und Bedienerhilfen selbst erstellen.
(Anm.: Nicht zu verwechseln mit der Software für die CNC-interne Teileprogrammierung an der Maschine)

5. Die Steuerungsarten

Man unterscheidet theoretisch zwischen 4 unterschiedlichen Steuerungsarten (Bild 5):

5.1 Punkt- und Streckensteuerung

Im Positionierbetrieb laufen alle Achsen gleichzeitig mit Eilganggeschwindigkeit, bis jede Achse ihre Zielposition erreicht hat.

Sehr einfache, billige Steuerung. Wird verwendet für Maschinen, die **ohne Werkzeug im Eingriff** im Eilgang verfahren. Erst bei erreichter Position erfolgt die Bearbeitung.

Beispiele: Bohrmaschinen, Stanzmaschinen, Zustellbewegungen bei Ablängmaschinen.

Streckensteuerungen können auch in den einzelnen Achsen nacheinander im programmierbaren Vorschub verfahren.

Beispiele: Werkstückhandhabung, Automatisierungshilfe als NC-Modul für SPS. Die Streckensteuerung ist aufgrund der starken technischen Einschränkungen und des geringen Preisunterschiedes zu einfachen Bahnsteuerungen nur in Ausnahmefällen interessant.

5.2 Bahnsteuerung

Bahnsteuerungen sind universell, da sie für jede Bewegungsaufgabe infrage kommen, wo 2 oder mehr NC-Achsen in exaktem Verhältnis zueinander zu verfahren sind. Diese Koordination übernimmt ein **Interpolator**, der satzweise die Bahnpunkte berechnet, alle Achsen gleichzeitig startet, jede der beteiligten Achsen im richtigen Geschwindigkeitsverhältnis führt und alle Achsen zum gleichen Zeitpunkt die programmierte Endposition erreichen läßt. Dies bezeichnet man als **3D-Bahnsteuerung**. Mit ihr können Werk-

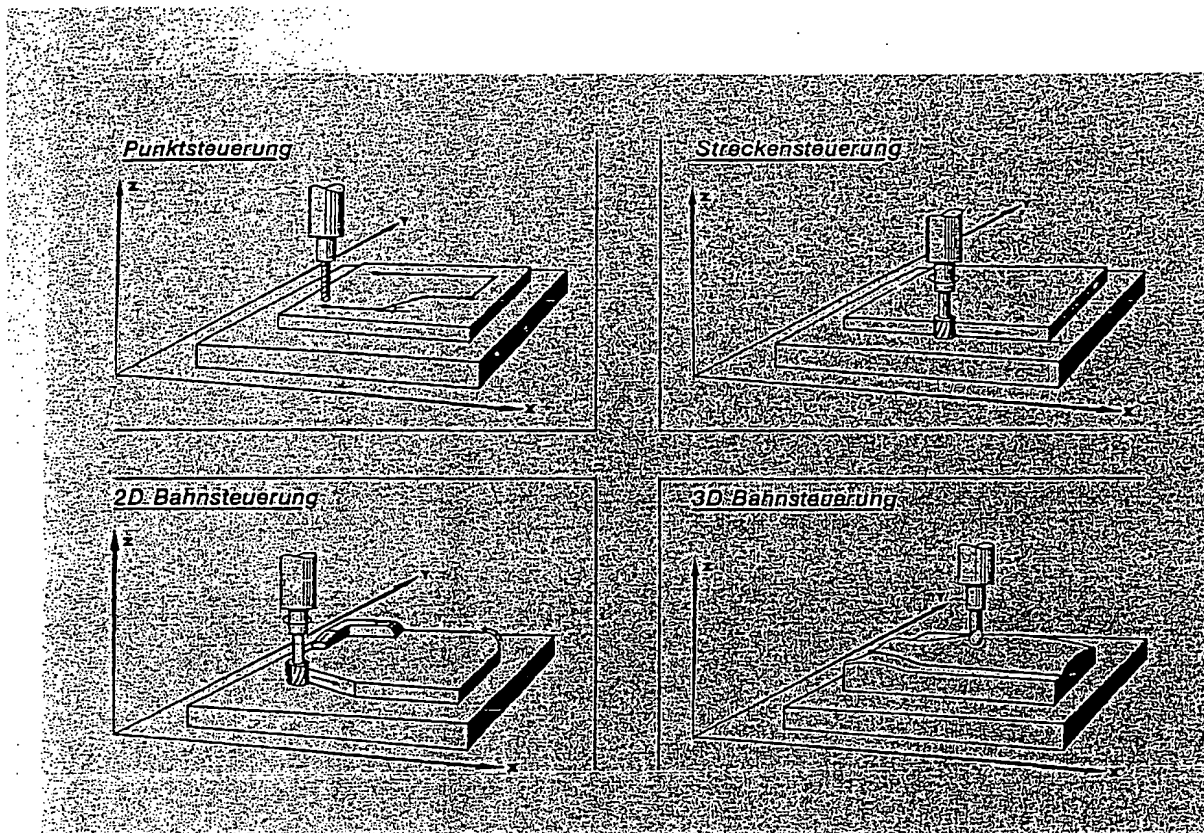


Bild 5: Die 4 verschiedenen Steuerungsarten.

zeugbewegungen in der Ebene oder im Raum ausgeführt werden.

Beispiele: Fräsmaschinen, Drehmaschinen, Erodiermaschinen, Bearbeitungszentren, eigentlich alle Maschinentypen. Wird die Interpolation **nacheinander** auf die drei Hauptebenen umgeschaltet und immer nur in 2 Achsen nacheinander interpoliert, d.h. in X/Y oder X/Z oder Y/Z, so bezeichnet man dieses Verhalten als **2^{1/2}-D Bahnsteuerung**. Diese reicht zwar für viele Anwendungen aus, ist aber wegen der fehlenden Universalität bei unbedeutendem Preisunterschied zur 3D-Steuerung heute nicht mehr aktuell.

6. Die Interpolationsarten

Bahnsteuerungen benötigen einen Interpolator, bei CNC's ein spezielles Soft-

wareprogramm. Dieses berechnet von der Start- bis zur Zielposition eines Satzes alle auf einer mathematisch definierbaren Kurve liegenden Zwischenpositionen und führt dabei die einzelnen Achsen so, daß das Werkzeug auf dieser Bahnkurve entlang läuft.

Dazu verfügen Bahnsteuerungen über verschiedene Interpolationsarten.

6.1 Linear- oder Geradeninterpolation (Bild 6 und 7)

Dabei bewegt sich das Werkzeug geradlinig, d.h. linear vom Start- zum Zielpunkt. Die Linearinterpolation läßt sich theoretisch für beliebig viele Achsen programmieren. Für Werkzeugmaschinen sind bis zu 5 **simultane Achsen** sinnvoll, und zwar für XYZ zur Bestimmung des anzu-

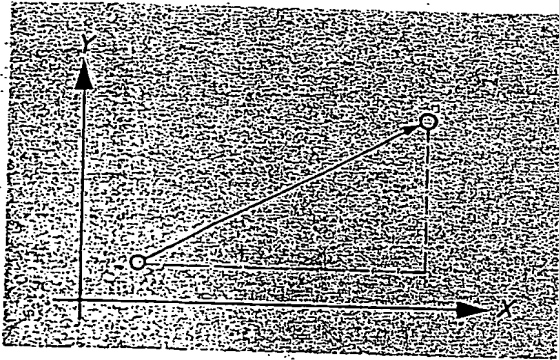


Bild 6: Linear- oder Geradeninterpolation.

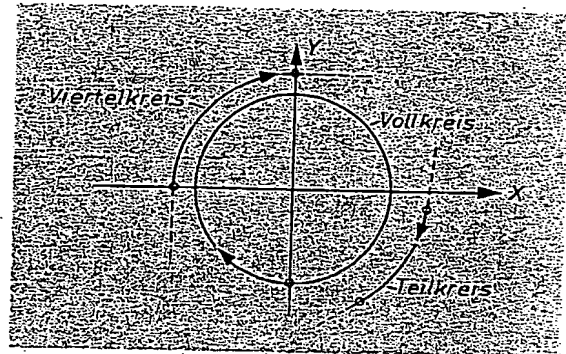


Bild 8: Zirkular- oder Kreisinterpolation.

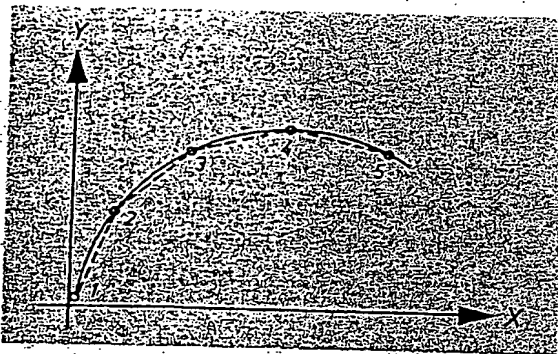


Bild 7: Annäherung einer Kurve durch einen Polygonzug.

fahrenden räumlichen Zielpunktes und zwei zusätzliche Schwenkbewegungen, z.B. A und B, zur Lagebestimmung der Fräserachse im Raum. Damit sind alle Profil- und Raumkurven erzeugbar, indem man diese durch **Polygonzüge** annähert. Je dichter die einzelnen Stützpunkte beieinanderliegen, desto genauer ist die Annäherung an das gegebene Profil. Mit der Anzahl der Punkte erhöht sich aber auch die zu verarbeitende Datenmenge pro Zeiteinheit, d.h. die Steuerung muß eine dementsprechend hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit haben.

6.2 Zirkular- oder Kreisinterpolation (Bild 8)

Theoretisch lassen sich alle Bahnen durch die Geradeninterpolation annähern. Kreis- und Parabelinterpolation reduzieren die Menge der Eingabedaten, erleichtern damit die Programmierung für diese Bahnen und erhöhen deren Genauigkeit.

Die Kreisinterpolation ist auf die Hauptebenen XY, XZ und YZ begrenzt. Nur wenige CNC's bieten auch eine **Kreisinterpolation im Raum**, um auf einer schrägen Fläche einen Kreis fräsen zu können. Die Einbeziehung rotatorischer Achsen in die Kreisinterpolation ist nicht sinnvoll.

Je nach Steuerung wird die Kreisinterpolation unterschiedlich programmiert: in Viertelkreisen, als Vollkreis, mit Hilfe der Kreismittelpunktsangabe durch IJK-Parameter oder Kreisendpunkt- und Radiusprogrammierung.

6.3 Parabelinterpolation

Die Parabel ist lt. Bild 9 durch 3 Punkte festgelegt, wobei der mittlere Punkt P2 die Strecke P4 P5 und P5 die Strecke P1 P3 halbiert. P1 ist vom vorhergehenden Satz bekannt, P2 und P3 werden in zwei

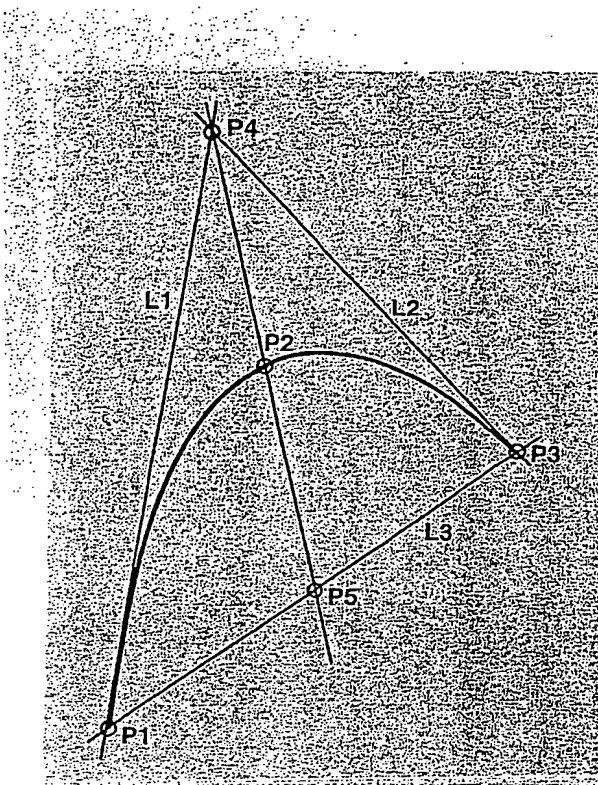


Bild 9: Parabelinterpolation.

aufeinanderfolgenden Sätzen zusammen eingelesen. Ein knickfreier Übergang zwischen zwei aufeinanderfolgenden Parabeln ist gegeben, wenn sie in P_3 gleiche Tangenten haben. Die Parabelinterpolation bringt im wesentlichen nur bei **drei- bis fünfsichtigen Maschinen** Vorteile, indem sie für mehrachsige simultane Bewegungen mit weniger Sätzen auskommt als die Linearinterpolation.

6.4 Splineinterpolation

Hierunter versteht man das Aneinanderfügen mathematischer Kurven höherer Ordnung, wobei die Übergänge tangentiell erfolgen. Mit dieser Interpolationsart lassen sich komplexe Kurvenformen mit weniger Sätzen darstellen als mit der Annäherung durch Polygonzüge und Linearinterpolation.

7. Die Bedienung

Eine gut durchdachte und sinnvoll unterstützte Bedienung trägt wesentlich zur Wirtschaftlichkeit einer NC-Maschine bei. Bedienerhilfen und Dialoge, die den Bediener vor Fehler bewahren, fördern seine **Sicherheit im Umgang** mit der Maschine und verhindern Ausfälle und Stillstandszeiten. Hier ist kein Aufwand zu hoch, denn jede neue Maschine und jede Steuerung stellt das Personal zunächst vor Probleme. Moderne CNC's bieten gerade in dieser Hinsicht sehr gute Unterstützungsmöglichkeiten an. Mittels einer integrierten Programmiersprache kann jeder Maschinenhersteller die für seine Maschine speziellen und typischen **Bedienerhilfen** selbst programmieren. Sogar zur Grafik hat er Zugriff, um anhand von Zeichnungen, Skizzen und mit farbiger Unterlegung leicht verständliche Hinweise zu geben. Da es sich dabei um reine Softwarepakete handelt, die Speicherplatz belegen, kann der Anwender nach der Einarbeitung diese Anfängerhilfen löschen und gewinnt den frei werdenden Speicherplatz für seine Programme. Bei Bedarf ist alles wieder einlesbar.

Die innere Komplexität der CNC darf nicht nach außen auf den Bediener durchschlagen. Wenige Steuerbefehle und sinnvolle Bedienschritte müssen sich logisch aneinanderreihen, um die Maschine zu den richtigen Reaktionen zu veranlassen. Die gesamte Bedienung muß weitgehend den **Gewohnheiten des Bedieners** entsprechen und darf nicht zu kompliziert sein. Der **Dialogbetrieb** macht die Dateneingabe sicherer und schneller. Man muß bedenken, daß selbst hoch automatisierte Maschinen einen gewissen Umfang manueller Restbedienung erfordern. Nicht selten müssen Vorschübe, Drehzahlen oder Hilfsfunktionen korrigiert werden.

Manchmal lassen sich diese Daten erst beim ersten Testwerkstück optimieren, je nach Schwingungsverhalten, Spanbildung oder Oberflächenqualität.

Bei **Werkzeugbruch** reicht es nicht, einfach die Maschine abzuschalten. Der Bediener muß schnell und sicher eingreifen können, die Maschine anhalten, das Werkzeug vom Werkstück wegfahren, ein neues Werkzeug einsetzen, die neuen Korrekturwerte eingeben und so an die Bruchstelle heranfahren, daß es sachte in den unterbrochenen Schnitt geht und ab sofort den neuen Korrekturwert berücksichtigt.

Leider allzuoft haben aber gerade die Bediener bei der Beschaffung keinen Einfluß und müssen mit weniger komfortablen Systemen zufrieden sein.

8. Das NC-Programm (Bild 10)

Zur Steuerung einer NC-Maschine ist ein werkstückspezifisches Programm erforderlich, auch als **NC-Programm** oder **Teileprogramm** bezeichnet. Es enthält alle Informationen zur Bewegung der Achsen und zur Betätigung der Schaltfunktionen. Sie sind in der richtigen Reihenfolge für die Bearbeitung schrittweise aneinandergereiht und auf einem automatisch lesbaren Datenträger gespeichert. Die numerische Steuerung arbeitet diese Informationen entweder vom Datenträger oder vom CNC-internen Datenspeicher nacheinander ab.

Wesentliche Voraussetzung für die problemlose Einführung von NC-Maschinen war der genormte Programmaufbau. Man einigte sich sehr früh auf einen international genormten Code nach ISO-Empfehlung, der dann auch in die DIN 66025 einfloß. Damit war der Programmaufbau für alle NC-Maschinen weitestgehend verein-

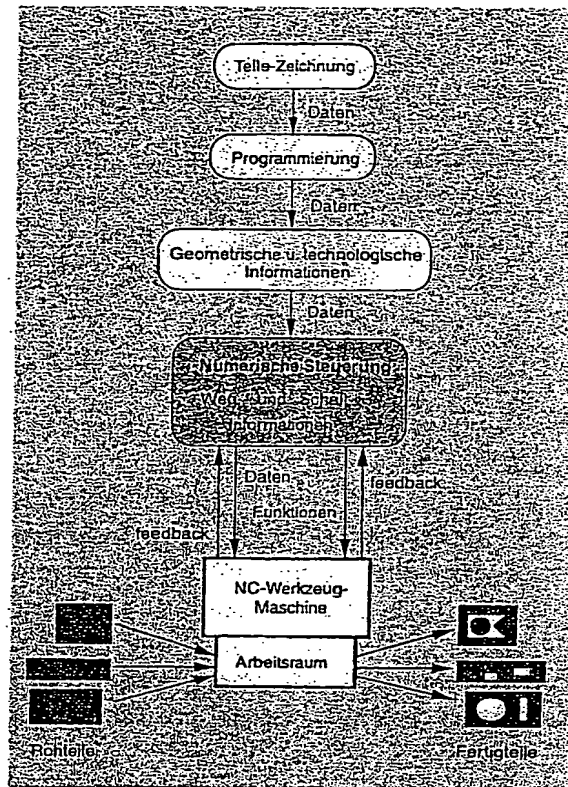


Bild 10: Umsetzung der Werkstück- und Bearbeitungsdaten in Weg- und Schaltinformationen für die NC-Maschine.

heitlicht und die Programmierung konnte extern und Maschine-unabhängig mit jedem Programmiersystem erfolgen. Der **Programmaufbau** wird im Kapitel „Das NC-Programm“ beschrieben.

9. Dateneingabegeräte

Diese dienen zum automatischen Einlesen der auf Datenträger gespeicherten Programme in die NC.

9.1 Lochstreifenleser (Bild 11)

Das älteste und noch immer benutzte Eingabegerät. Fotoelektrische Abtastung der

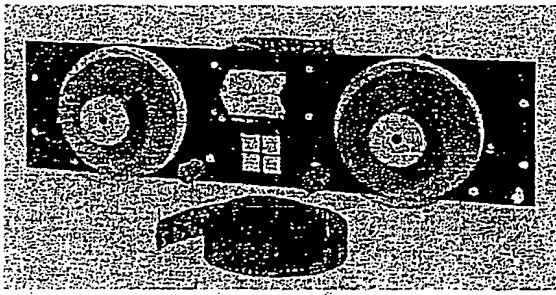


Bild 11: Fotoelektrischer Lochstreifenleser mit Wickelvorrichtung.

Lochstreifen mit einer Lesegeschwindigkeit von 150–300 Zeichen pro Sekunde, wahlweise mit oder ohne Wickelvorrichtung, ausgerüstet, Spulendurchmesser von 100 mm bis 270 mm. Die max. aufwickelbare Lochstreifenlänge L errechnet sich aus

$$L = \frac{D_2^2 - D_1^2}{4P} \cdot \pi$$

D_1 = innerer Wickeldurchmesser,
 D_2 = größter äußerer Wickeldurchmesser,
 P = Papierstärke des Lochstreifens

Bei CNC's wird das Teileprogramm komplett in den Programmspeicher eingelesen und von diesem abgearbeitet. Dies schont Lesemechanik und Lochstreifen, macht beim Bearbeiten von der Lesegeschwindigkeit unabhängig und es entfällt das Warten auf den Rückspulvorgang bis zum Programmanfang nach jedem Teil. Beim Lesen erfolgt eine automatische Code- und Plausibilitätsprüfung, um falsche Zeichen zu erkennen. Es werden geprüft

- die Ungeradzahligkeit der Lochkombination beim EIA-Code bzw. die Geradzahligkeit beim ISO-Code (Parity-Check),

- der Sinngehalt jedes Zeichens durch Prüfung auf eine erlaubte Lochkombination,
- die richtige Zeichenfolge, d.h. zuerst eine Adresse und dann der Wert,
- zugelassene Adressen und richtige Wortlänge,
- sich gegenseitig widersprechende Informationen.

Ein erkannter Fehler stoppt das weitere Einlesen und wird angezeigt. Die meisten Steuerungen wiederholen bei Lesefehlern das Lesen eines Satzes bis zu 7mal, bevor endgültig „Falsches Zeichen“ erkannt wird. Dieses mehrfache Lesen korrigiert zufällige Lesefehler und vermeidet unnötige Maschinenausfälle.

Falsch eingegebene Werte erkennt die Steuerung auf diese Weise nicht, dafür stehen andere Prüfverfahren zur Verfügung.

Bei Steuerungen mit Programmspeicher ist auch die Korrektur eines Programmes in der CNC möglich, sowie anschließend dessen Ausgabe auf Datenträger.

9.2 Tastatur

Mit Hilfe der ASCII-Tastatur tippt der Bediener die einzelnen Sätze Wort für Wort ein und die CNC speichert das Programm im Programmspeicher. Fehler werden in gleicher Weise mit Hilfe des Editors korrigiert. Speziell für die Werkstattprogrammierung ausgelegte CNC's verfügen zusätzlich über sogenannte Softkey's unterhalb des Bildschirms. Per Software weist die CNC diesen 5–10 Tasten unterschiedliche Funktionen zu, die am unteren oder seitlichen Bildschirmrand zu sehen sind. Über eine separate Rücksprungtaste kann zu jedem Zeitpunkt schrittweise an einen früheren Eingabestatus zurückgesprungen werden.

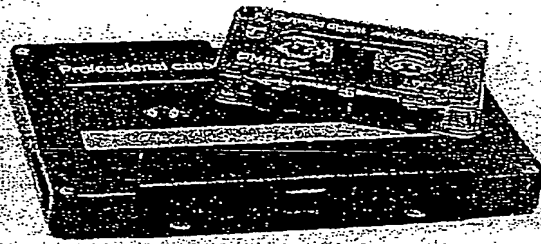


Bild 12: Magnetbandkassetten unterschiedlicher Größe und Speicherkapazität.

9.3 Magnetbandkassetten (Bild 12)

Wo größere Datenmengen zu speichern sind, bieten sich auch Magnetbandkassetten als Datenträger an. Dafür stehen zwei unterschiedliche, handelsübliche Größen zur Verfügung. Die **Kassetten-Geräte** müssen zur Verwendung an CNC's eine **einstellbare Übertragungsrate** von 110 bis 19600 Baud haben, um an verschiedene Fabrikate anschließbar zu sein.

6 gute Gründe sprechen für die Verwendung von Magnetbandkassetten:

1. Handeingabesteuerungen verlangen nach guten **Ausgabe-, Speicher- und Wiedereingabemöglichkeiten**, um direkt an der Maschine erstellte Programme auch sichern und wiedereinlesen zu können.
2. Magnetbänder kann man mehrfach löschen und wieder beschreiben.
3. Magnetbandgeräte können zur **Ausgabe und Eingabe** verwendet werden und sind billiger als Stanzer und Leser für Lochstreifen.
4. Magnetbandgeräte sind **billiger als Lochstreifenleser** mit vergleichbarer Lesegeschwindigkeit und daher ist es vertretbar, ein Ersatzgerät bereitzuhalten.
5. Es stehen **2 verschiedene Kassettengrößen** zur Verfügung: Die Standardkas-

setten mit ca. 200 KByte und die Minikassetten mit ca. 32 KByte Speicherkapazität pro Seite. (200 KByte entspricht ca. 500 m Lochstreifen.)

6. Nach Gebrauch ist das **mobile Kassettengerät** auch an einer anderen Steuerung oder an einem Programmiergerät einsetzbar.

Da die auf elektronischen Datenträgern gespeicherten Daten nicht visuell (wie beim Lochstreifen) lesbar sind, ist deren Verwendung nur in Verbindung mit CNC's sinnvoll, die über einen großen Programmspeicher verfügen, mit Anzeige der gespeicherten Daten über Bildschirm und Korrekturmöglichkeit über Tastatur.

9.4 Diskette

Im Prinzip mit Magnetbändern vergleichbar, sind insbesondere die 3 1/2-Zoll-Disketten für den **Werkstattbetrieb geeignet**. Sie verfügen über

- eine stabile **Plastikhülle**,
- eine automatisch schließende **Abdeckung des Lesespalt**es zum Schutz der empfindlichen Beschichtung beim Entnehmen aus dem Laufwerk,
- eine **Speicherkapazität** von 800 KB bis 1,4 MB und
- kurze Zugriffszeiten auf die gespeicherten Daten.

Disketten-Laufwerke haben standardisierte Schnittstellen, sind robust, gut gekapselt, klein, sehr zuverlässig und in jedem Computerladen als Ersatzteil erhältlich.

Separate Disketten-Laufwerke mit eigener LCD-Anzeige und ASCII-Tastatur sind ebenfalls verfügbar. Sie lassen sich an alle modernen CNC-Fabrikate anschließen und beispielsweise auch als erweiterter externer Datenspeicher mit Korrekturmöglichkeit verwenden.

9.5 Memory-Card (Bild 13)

In absehbarer Zeit wird sich sehr schnell die elektronische **Memory-Card** als ideales Speichermedium durchsetzen. Die Personal Computer Memory Card International Association (PCMCIA) hat für diese Steckkarten auf der Basis von JEIDA-Richtlinien (Japan Electronic Industry Development Association) einen Standard vereinbart, der den Einsatz dieser Karten in Computern und elektronischen Steuerungen sehr beschleunigen wird. Es stehen zwei Kartentypen zur Verfügung:

Typ 1:

L = 86 mm, B = 54 mm und H = 3,3 mm für ROM, SRAM und Flash-EEPROM.

Typ 2:

L = 86 mm, B = 54 mm und H = 5 mm für EPROMs.

Beide Typen verwenden den gleichen Steckverbinder (68-polig). Für einfachere Aufgaben stehen auch 38-polige Karten zur Verfügung.

Die heutigen Karten haben Speicherkapazitäten von 4 MByte SRAM bis 16 MB Flash-EPROM, 32 bzw. 64 MB sind für die nächsten 2-3 Jahre angekündigt.

Memory-Cards haben den Vorteil, daß **keine mechanischen Laufwerke** benötigt werden und sie erfüllen damit eine wesentliche Voraussetzung für den Einsatz im rauen Werkstattbetrieb. Die besonders ausgelegten und vergoldeten Kontakte lassen bis zu 10 000 Steckzy-



Bild 13: Memory-Cards, erhältlich mit folg. Speicherkapazitäten: SRAM bis 8 MB; Flash ATA Cards bis 640 MB/1,2 GB; Compact Flash Cards bis 128 MB (infos unter www.melcard.de)

klein zu. Bei einer mittleren Zugriffszeit von 150-250 ns ist sie gegenüber herkömmlichen Disketten ca. > 1000mal schneller.

Auf dieser Basis werden sehr schnell weitere Varianten folgen, wie z.B. Karten mit kontaktloser (induktiver) Datenübertragung oder mit halber Kartengröße.

9.6 DNC – Distributed Numerical Control

Diese Art der Dateneingabe zählt zwar nicht zu den „Dateneingabegeräten“, hat sich aber aufgrund vielfältiger Vorteile zum meistbenutzten Eingabeprinzip entwickelt. DNC bezeichnet die Rechneranbindung der CNC's über Datenleitung (Datenbus) zur direkten Übertragung der NC-Programme. Ein oder mehrere Rechner übernehmen für alle angeschlossenen NC-Maschinen die Speicherung und Verwaltung sämtlicher NC-Programme und liefern diese unter Beachtung vorgegebener Sicherheitskontrollen auf Abruf in die CNC. Außer den NC-Programmen werden auch die erforderlichen Werkzeugdaten, MDE/BDE-Daten und Korrekturwerte übertragen. (Siehe Kapitel DNC)

10. Zusammenfassung

Das wesentliche Kennzeichen einer numerischen Steuerung ist die präzise Steuerung der **Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück** einer Maschine. Dazu gibt man die erforderlichen Positionswerte direkt als **Maßwerte in mm** (bzw. inch) ein. Soll das Werkzeug beim Anfahren dieser Positionen eine de-

finierte Bahn einhalten, z.B. eine schräge Gerade oder eine Kreisbahn, dann berechnet die NC alle Zwischenpositionen vom Start- zum programmierten Endpunkt und die Vorschubgeschwindigkeiten der einzelnen Achsen selbständig.

Die für einen automatischen Ablauf zusätzlich erforderlichen **Schaltinformationen** werden ebenfalls programmiert, so daß ein vollautomatischer Betrieb ohne manuelle Eingriffe stattfindet. In CNC's lassen sich mehrere NC-Programme speichern und beliebig abrufen.

Der Bediener kann den Programmablauf über den Bildschirm verfolgen und bei Bedarf auch korrigierend eingreifen. Um Mensch und Maschine vor Schäden durch Fehlbedienungen zu schützen, sind in modernen CNC-Maschinen mehrere Sicherheits- und Überwachungseinrichtungen vorhanden.

Viele Werkzeugmaschinen sind heute mit mehreren numerisch gesteuerten Hauptachsen, Hilfsachsen und Schaltfunktionen ausgerüstet. Verschiedene Bearbeitungsarten erfordern darüber hinaus eine sehr präzise und schnelle Maschinenbewegung.

Die numerische Steuerung hat den Aufbau und die Handhabung der Maschinen so wesentlich verändert, daß eine manuelle Maschinenführung nicht mehr möglich ist.

Obwohl alle numerischen Steuerungen nach dem gleichen Prinzip arbeiten, erfordern die unterschiedlichen Maschinentypen auch unterschiedliche, speziell angepaßte Steuerungen. Darauf wird im Kapitel „*Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen*“ näher eingegangen.

Das NC-Programm

Kenntnisse über den Aufbau und die Struktur von NC-Programmen sind besseren Verständnis der numerischen Steuerung vorteilhaft. Für manuelle Programm-Korrekturen an der NC-Maschine sind sie unerlässlich.

Vor einer zu intensiven Einarbeitung in die abstrakte NC-Programmierung soll auf den heutigen Stand der Technik hingewiesen werden:

1. Kein Anwender von NC-Maschinen programmiert heute noch im Maschinen-/ Steuerungscode, der hier erläutert wird. Dafür stehen sehr intelligente und einfach zu bedienende NC-Programmiersysteme zur Auswahl. Diese sind entweder in die CNC integriert und damit maschinenspezifisch ausgelegt (WOP), oder auf einem externen PC lauffähig und universell für mehrere Maschinen- und Steuerungsfabrikate verwendbar. Selbst geometrische und technologische Änderungen an fertigen Programmen lassen sich damit auch nachträglich noch viel schneller einfügen als im DIN-Code. Dieser ist noch immer das genormte Daten-Eingabeformat und wird von fast allen CNC-Fabrikaten benutzt. Deshalb kann es vorteilhaft sein, über den Aufbau und die einzelnen Befehle Bescheid zu wissen.

2. Ausgelöst durch High-Speed-Cutting-Maschinen bzw. deren enorm hohen und schnellen Datenbedarf, sowie dem verstärkten Einsatz von CAD-Systemen zeichnet sich ein neuer Trend ab: Die direkte Verwendung der vom CAD-System erzeugten Datenformate. Dabei handelt es sich entweder um NURBS- oder BEZIER-Formeln. Damit lassen sich mehrere Vorteile erreichen:

- wesentliche Reduzierung der Datenmenge,
- besseres, ruhigeres Maschinverhalten,
- höhere Geschwindigkeiten
- höhere Genauigkeiten
- keine Umsetzung der Geometriedaten durch Postprozessoren u. a. mehr.

In diese Geometrie-Formate können nachträglich keine manuellen Änderungen oder Ergänzungen eingefügt werden.

Nähere Erläuterungen siehe Kapitel unter „Spline-Interpolation – NURBS“

1. Definition

Ein Programm besteht aus einer Folge von Anweisungen, die einen Rechner oder eine NC-Maschine veranlassen, bestimmte Bearbeitungsaufgaben durchzuführen. Bei der NC-Maschine verknüpft man darunter die Herstellung eines bestimmten Werkstückes durch Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück, wobei die Maßeingaben in mm- bzw. inch-Werten erfolgen. Ein solches NC-Teileprogramm enthält nur die für die Bearbeitung erforderlichen Weginformationen auch alle zusätzlichen Schaltinformationen und Hilfsbefehle, die die nahtlose, automatische Herstellung des Werkstücks zur Verfügung stehen.

2. Struktur der NC-Programme

Den prinzipiellen Aufbau eines NC-Programmes zeigt Bild 1. Der Programminhalt besteht aus einer beliebigen Anzahl von **Sätzen**, die den gesamten Arbeitsablauf der Maschine schrittweise beschreiben. Jeder **Satz** im Programm repräsentiert einen geometrischen Bearbeitungsschritt und/oder eine bestimmte Maschinenfunktion. Die einzelnen Sätze sind fortlaufend numeriert und durch das

Satzende-Zeichen \$ voneinander getrennt. Jeder Satz besteht wiederum aus einem oder mehreren **Wörtern**, die sich bei der heute üblichen **Adressen-Schreibweise** aus den Adreßbuchstaben und den Zahlenwerten zusammensetzen. Die **Adresse** (Tabelle 1) legt fest, für welchen Speicher der nachfolgende Zahlenwert bestimmt ist, d.h. welche Funktionsgruppe angesprochen werden soll. Grundsätzlich darf in einem Satz jede Adresse nur einmal erscheinen, die meisten Steuerungen lassen jedoch mehrere

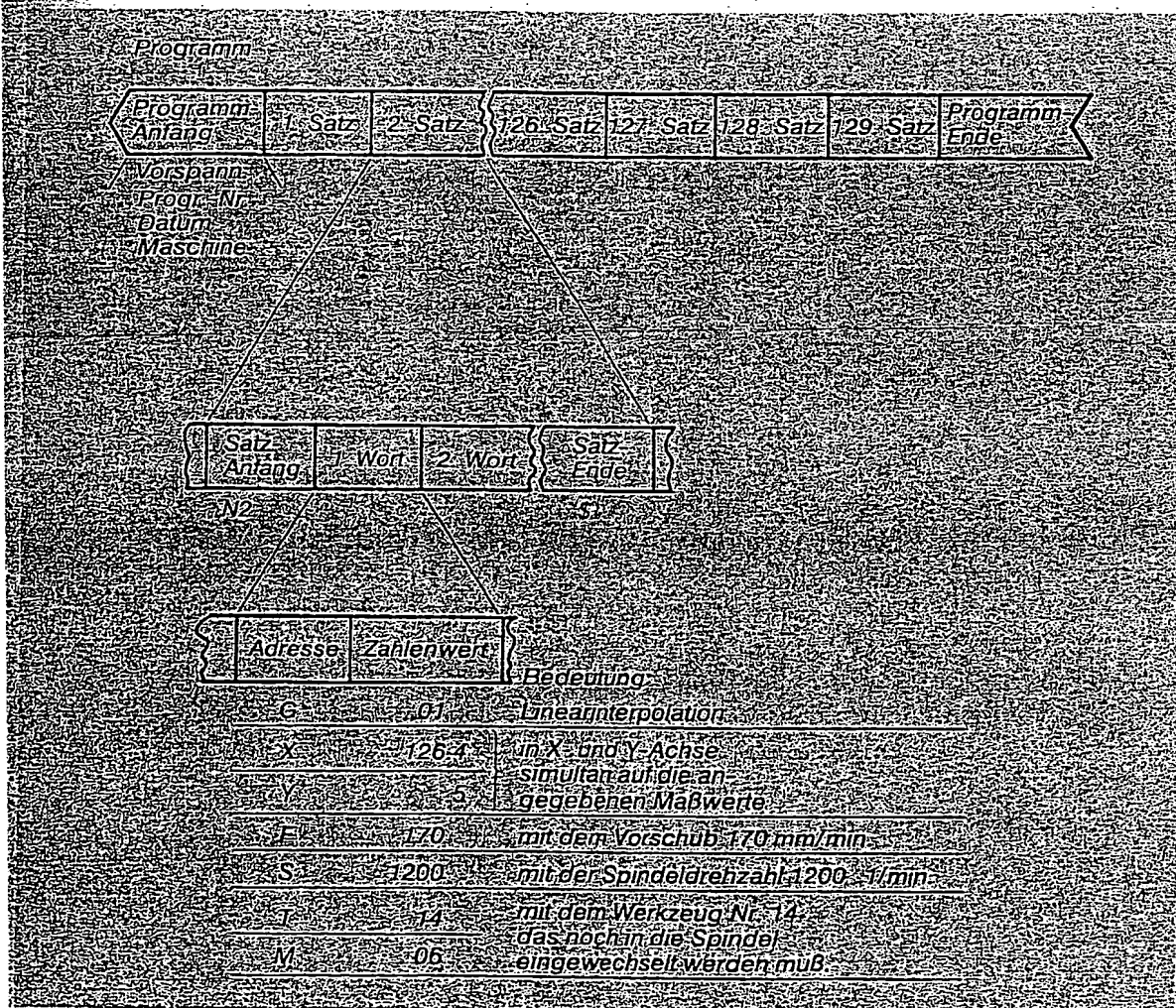


Bild 1: Prinzipieller Aufbau eines NC-Programmes in Adressen-Schreibweise

Buchstabe	Adresse für
A	Winkelmaß um X-Achse
B	Winkelmaß um Y-Achse
C	Winkelmaß um Z-Achse
D	Winkelmaß um Zusatzachse oder frei verfügbar
E	Winkelmaß um Zusatzachse oder frei verfügbar (Error-Code o.ä.)
F	Vorschubgeschwindigkeit
G	Vorbereitende Wegbedingung
H	Werkzeuglängenkorrektur
I	Hilfsparameter für Kreisinterpolation oder Gewindesteigung parallel zur X-Achse
J	Hilfsparameter für Kreisinterpolation oder Gewindesteigung parallel zur Y-Achse
K	Hilfsparameter für Kreisinterpolation oder Gewindesteigung parallel zur Z-Achse
L	frei verfügbar
M	Maschinenbefehle, Schaltfunktionen
N	Satznummer
O	Offset (Achspareller Werkzeugversatz) möglichst nicht verwenden
P	Dritte Eilgangbegrenzung oder Unterprogrammaufruf
Q	Zweite Eilgangbegrenzung
R	Erste Eilgangbegrenzung oder Referenzebene
S	Hauptspindeldrehzahl
T	Werkzeugnummer, evtl. mit Korrekturwert
U	Zweite Achse parallel zur X-Achse
V	Zweite Achse parallel zur Y-Achse
W	Zweite Achse parallel zur Z-Achse
X	Erste Hauptachse
Y	Zweite Hauptachse
Z	Dritte Hauptachse

Tabelle 1: Adressen-Zuordnung nach DIN 66025.

G- oder M-Befehle pro Satz zu, sofern sie sich nicht widersprechen oder gegenseitig aufheben.

Ein Satz kann unterschiedliche Anweisungen enthalten. Man unterscheidet dabei

- **geometrische Anweisungen**, mit denen die Relativbewegungen zwischen Werkzeug und Werkstück gesteuert werden (Adressen X, Y, Z, A, B, C, W ...),

- **technologische Anweisungen**, mit denen Vorschubgeschwindigkeit (F), Spindeldrehzahl (S) und Werkzeuge (T) festgelegt werden;

- **Fahrplanweisungen**, die die Art der Bewegung bestimmen (G), wie z. B. Eilgang, Linearinterpolation, Zirkularinterpolation, Ebenenauswahl,

- **Schaltbefehle** zur Auswahl der Werkzeuge (T), Schalttischstellungen (M), Kühlmittelzufuhr Ein/Aus (M),

- **Korrekturaufrufe** (H), z. B. für Werkzeuglängenkorrektur, Fräserdurchmesserkorrektur, Schneidenradiuskorrektur, Nullpunktverschiebungen (G),

- **Zyklus- oder Unterprogrammaufrufe** für häufig wiederkehrende Programmabschnitte (P, Q).

Die **Zahlenwerte** der Weginformationen definieren die anzufahrende Position und sollten in der **Dezimalpunkt-Schreibweise** eingegeben werden können, d. h. alle führenden oder nachfolgenden Nullen werden nicht geschrieben. Dies verkürzt die Programmlänge erheblich und vermeidet Fehler. Alle Zahlenwerte ohne Punkt stehen vor dem Dezimalpunkt, nach dem Punkt folgen Dezimalbruchwerte.

Beispiel: X400 = X 400,00 mm
X.23 = X 0,230 mm
Z14.165 = Z 14,165 mm

Schließlich unterscheidet man noch zwischen Haupt- und Nebensätzen:

- **Hauptsätze** sind dadurch gekennzeichnet, daß alle Adressen mit den aktuellen Zahlenwerten vorhanden sind, was bei langen Programmen den Wiedereintritt in den unterbrochenen Programmablauf vereinfacht. Zur Kennzeichnung von Hauptsätzen wird vor die N-Adresse ein Doppelpunkt geschrieben oder es werden grundsätzlich alle Sätze mit geraden 100er oder 1000er Nummern zu Hauptsätzen gemacht.

- **Nebensätze** enthalten nur solche Worte, deren Werte sich gegenüber dem bisherigen Stand ändern.

Die Bedeutung der Befehle legen Maschinen- und Steuerungshersteller unter Beachtung der **DIN 66025** gemeinsam fest. Dort sind die Regeln für den Programmaufbau weitgehend standardisiert. Nicht genormt sind Sonder-Funktionen, wie Arbeitsfeldbegrenzung, Hinweisprogrammierung, Unterprogrammaufrufe oder Sonderzyklen. Hierbei geben jeweils die **Programmieranleitungen** Auskunft.

3. Programmaufbau, Syntax und Semantik

Unter **Syntax** versteht man formelle Regeln, die den Aufbau von Anweisungen in einer Programmiersprache bestimmen, ohne auf die Bedeutung der Wörter Bezug zu nehmen. Die Bedeutung der Wörter ist in der **Semantik** festgelegt.

Beide zusammen bestimmen den **Programmaufbau**, bestehend aus Zeichen, Wörtern und Sätzen, sowie die Anordnung dieser Informationen auf dem Datenträger.